

Project «SCAN-3» *(Prolongation)*

Creation of a precision magnetic spectrometer SCAN-3 and research of non nucleon degrees of freedom in nuclei, nucleon correlations and nuclear fragmentation at the internal target of the Nuclotron.

Russia

JINR, Lebedev Physical Institute, PTI, KKTEP;

Romania

IFIN-HH, Institute for Space Science;

Slovak republic

Institute of Physics, University of P.J. Šafárik;

Uzbekistan

Jizzakh State Pedagogical Institute, Samarkand State University.

Programme Advisory Committee for Particle Physics 58th meeting, 21–22 June 2023. Recommendations

- 1) The PAC takes note of the report on preparing the SCAN-3 experiment presented by S. Afanasiev. The project is aimed at studying highly excited nuclear matter formed in dA interactions. This state of matter is studied by observing the decay of the excited nucleus into a pair of energetic particles emitted at an angle close to 180° and with an energy resolution of 4–5 MeV. The physics programme includes the study of the η - and Δ -nuclei formation and the determination of binding energies and widths of quasi-bound states.
- 2) Recommendation. The PAC feels that a firm recommendation cannot be made at this time. As a project approved in 2019 and seeking extension, the PAC requests the JINR team to return to it at the next session of the PAC with a clear proposal and a clear presentation outlining the original goals of the project in 2019, the achievements over the past four years, and its plans for the requested extension period.

The goals of the project SCAN-3 in 2019 was:

1. to prepare detectors for measurement;
2. to assemble three-arms spectrometer;
3. to test and tuning magnetic spectrometer;
4. to investigate the behavior of S_{11} resonance in the nuclear medium as signal of η -nuclei.

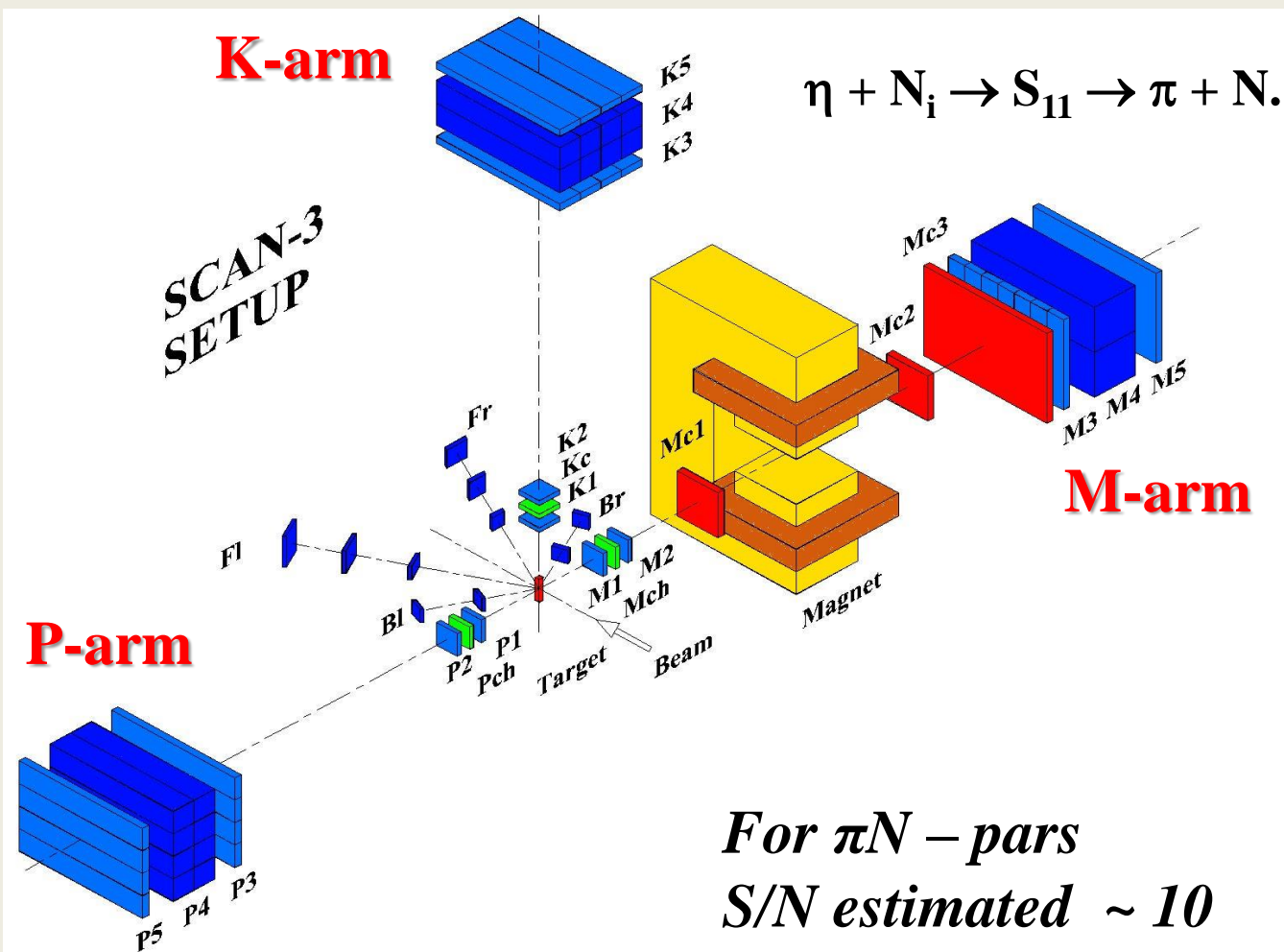
First 2 items have been finished in 2019-2023.

- All detectors have been assembled.
- The place for spectrometer have been prepared and detectors are installed.
- DAQ system was assembled and all electronics were bought.

Last 2 items have not completed due to nuclotron had not operated in 2019-2023.

- 28 papers on the project topic have been published from 2019 to 2023.

Experimental setup



magnetic field ($B=7$ kGs)

pion registration

kinetic energy 313 MeV.

4 detectors $dP/P=0.82\%$
($dE=2.6$ MeV)

3 detectors $dP/P=1.28\%$
($dE=4$ MeV)

proton registration

kinetic energy 270 MeV.

4 detectors $dP/P=1.17\%$
($dE=3.2$ MeV)

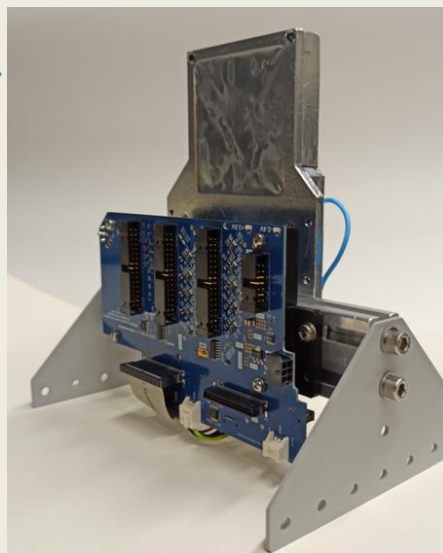
3 detectors $dP/P=2.4\%$
($dE=6.5$ MeV)

- the energy resolution is improved significantly (better than 10 MeV)
- the effect and background are recorded simultaneously what significantly reduces systematic errors

Tracker

The silicon vertex detector.

The detector has single coordinate silicon module with 640 strips.



Two chambers are based on Straw detectors



The two-coordinate proportional chamber 600x200mm.

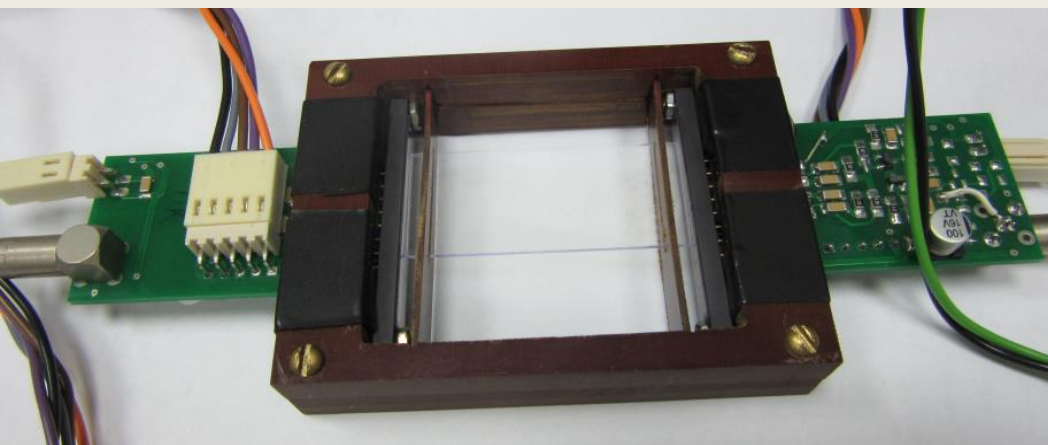


Dipole Magnet



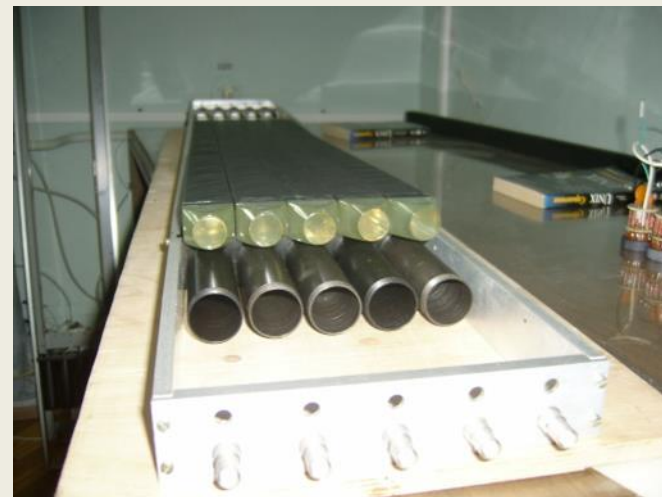
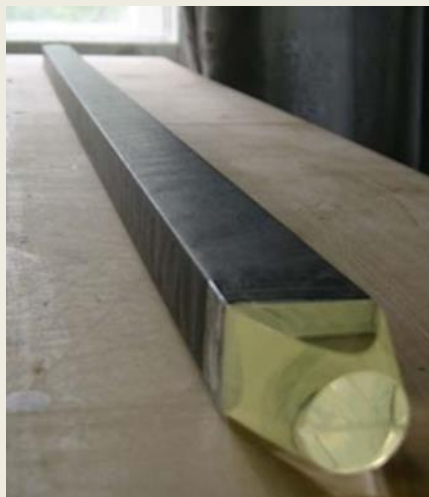
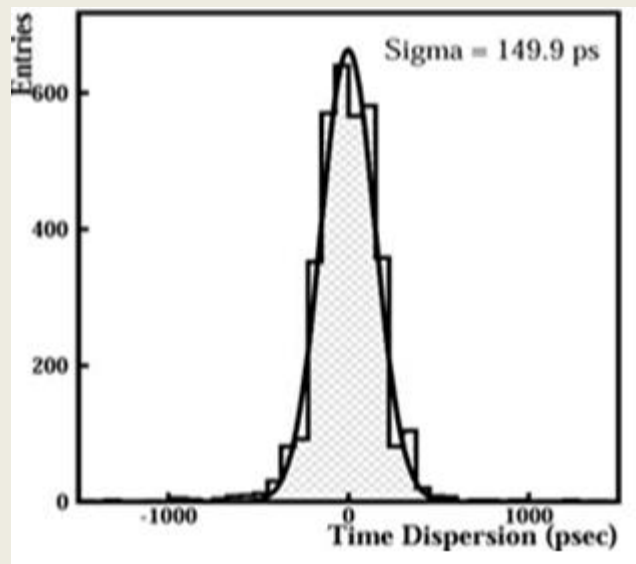
TOF system

The forward TOF detector



The TOF system is include forward counter and scintillation hodoscope. The forward detector is based on SiPM matrix and fast plastic scintillator. Time resolution TOF system is 150ps.

The TOF wall



Time of flight hodoscope M-arm, before assembly

Neutron detectors (prepared for P and K arms of SCAN)

The array of the neutron counters for
P-arm.

It based on Scintillators 500x130x50mm



Summary from beam test:

TOF resolution has mean value

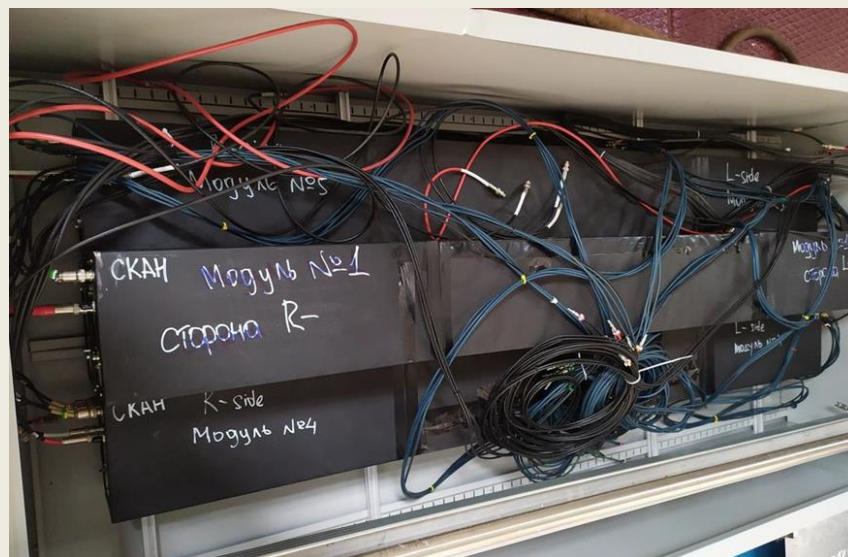
0.31ns

**Estimated Energy
resolution**

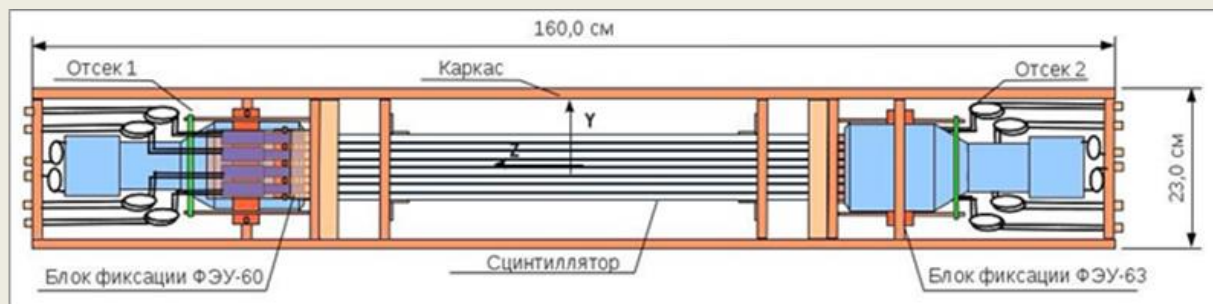
$\delta E_N \leq 10 \text{ MeV}$.

Multi layers neutron counters for
K-arm.

They based on scintillators 800x180x30mm



TOF resolution are **0.2-0.3ns**



DAQ

The data acquisition system is used VME system and includes full set of modules for experimental setup. All VME modules where produced in VBLHEP JINR.

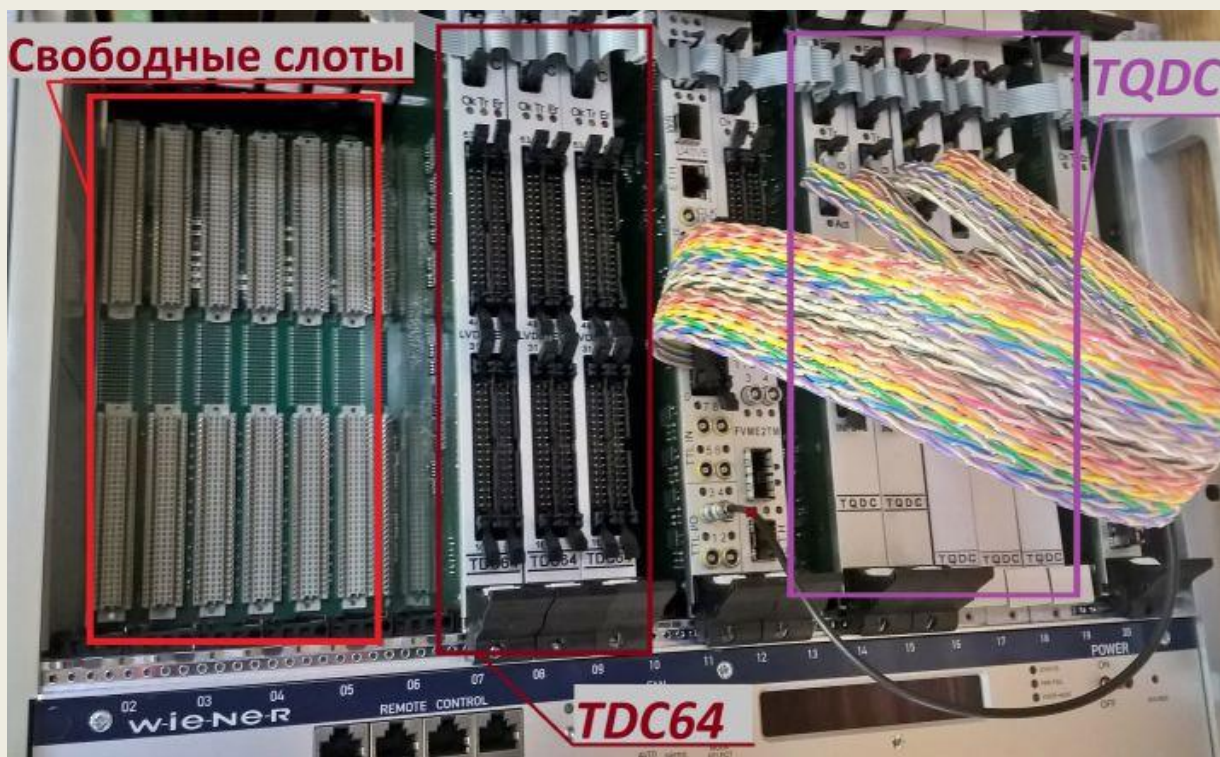
DAQ consist of:

FVME – VME crate controller;

FVME2TM – trigger module;

TQDC-16 - 16-channel converter of time and charge, the total number – 64 channels;

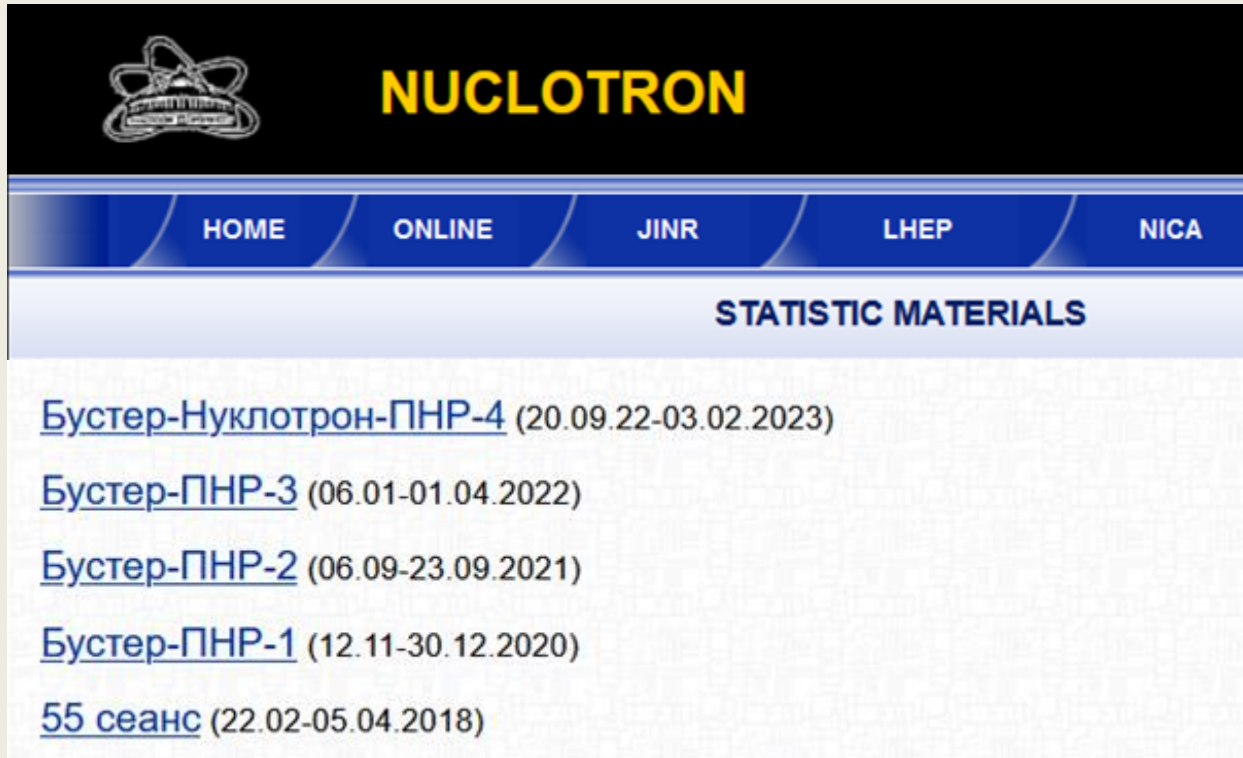
TDC64V - 64-channel TDC with a resolution of 100ps, total - 128 channels;



Nuclotron operation from 2018 to 2023

No Physical runs were carried out at the accelerator complex.

<http://nucloweb.jinr.ru/nucloserv/statist/stat-main.htm>



The screenshot shows the Nuclotron website interface. At the top left is the Nuclotron logo, a stylized atom symbol. To its right, the word "NUCLOTRON" is written in large, bold, yellow capital letters. Below this is a navigation bar with five buttons: "HOME", "ONLINE", "JINR", "LHEP", and "NICA". Underneath the navigation bar is a section titled "STATISTIC MATERIALS". This section contains a list of five items, each with a blue underlined link and a date range in parentheses:

- [Бустер-Нуклотрон-ПНР-4](#) (20.09.22-03.02.2023)
- [Бустер-ПНР-3](#) (06.01-01.04.2022)
- [Бустер-ПНР-2](#) (06.09-23.09.2021)
- [Бустер-ПНР-1](#) (12.11-30.12.2020)
- [55 сеанс](#) (22.02-05.04.2018)

ПНР - commissioning works

Plan for the project prolongation for next period:

□ to test and tuning magnetic spectrometer;

(for the measurement of correlated pairs with an energy resolution up to 4-5 MeV);

□ to investigate the behavior of S_{11} resonances in the nuclear medium as signal of η -nuclei :

- to determine the cross-section of η -nuclei formation $\sigma(\eta A)$;
(will be observed πN back-to-back correlation coming from a target, which may be associated with decay of S_{11} resonance in nuclei.);
- determine the bound energy of η -meson in nuclei;
(to be measure mass and width of the S_{11} resonance in nuclei.);
- to measure $(\pi^- N)$ and (NN) branches of the S_{11} decay;

Estimates of the required beam time and financing resources.



$$Y(\pi^-p) \sim 40 \text{ hour}^{-1}, \quad 60 \text{ hours (3\% accuracy)}$$

$$Y(\pi^+n) \sim 12 \text{ hour}^{-1}, \quad 200 \text{ hours (3\% accuracy)}$$

$$Y(pn) \sim 12 \text{ hour}^{-1},$$

$$Y(pp) \sim 2 \text{ hour}^{-1}. \quad 700 \text{ hours (3\% accuracy)}$$

Expected characteristics of pairs from decay of η -nuclei (πN - branch)

$$T_\pi = \underline{313 \text{ MeV}}$$

$$T_N = \underline{94 \text{ MeV}}$$

$$p_\pi = \underline{431 \text{ MeV}/c}$$

Required project financing for 5 years ~28k\$/year.

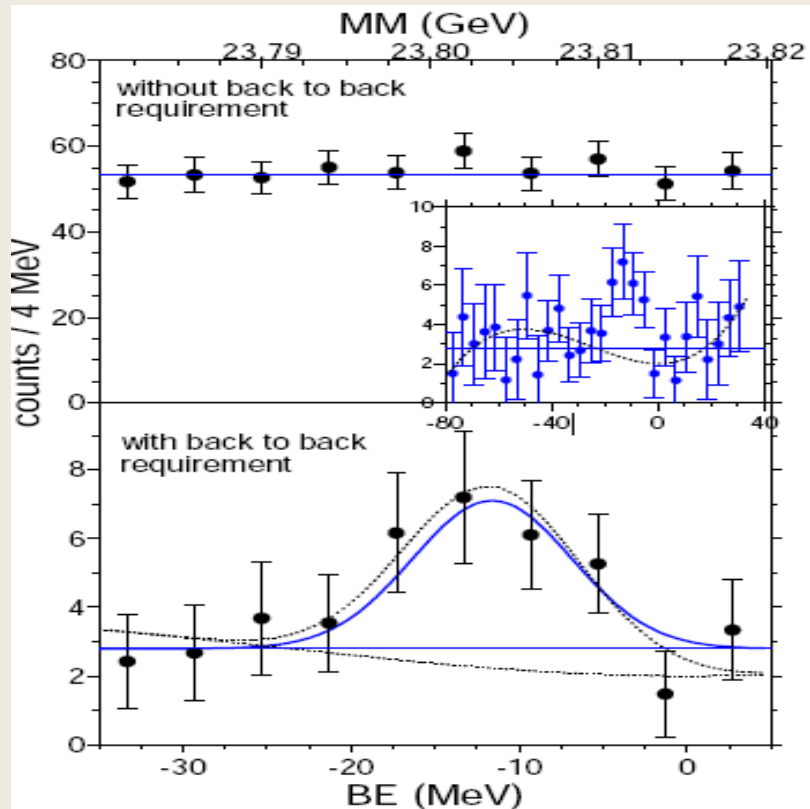
The minimum acceleration time is about 200 hours.

Search for the η -mesic nuclei in a recoil-free transfer reaction

COSY-GEM Collaboration

η - ^{25}Mg

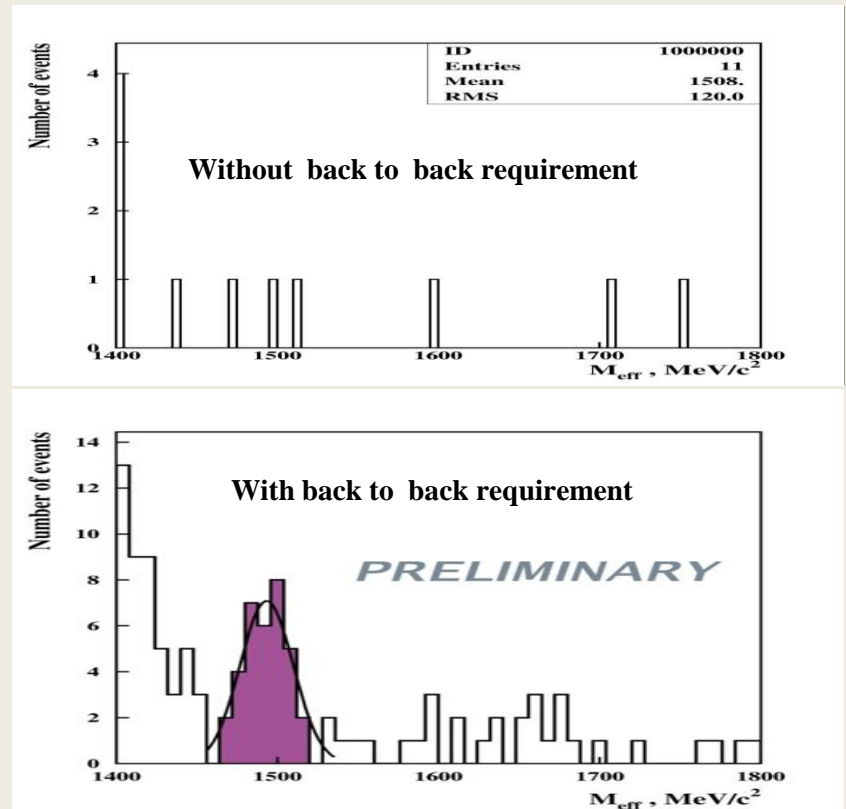
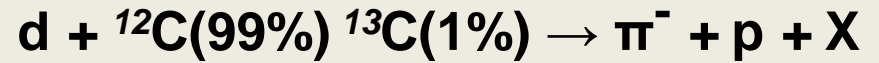
A. Budzanowski et al., Phys. Rev. C 79 (2009)



SCAN results (nuclotron internal target) LHEP JINR

η - ^{12}C

S.Afanasiev et al., Cracow, 16 June (2010)



Due we have uncertainty of the accelerator complex operation , it is proposed to extend the project for 5 years.

Financing is requested in the amount of 28 k\$ per year.

Beam time requirement

for tuning the spectrometer:

- 100 hours

For physical program:

first run ~200 hours

for all program ~1200 hours


Names of costs, resources, sources of funding		Cost (thousands of dollars) resource requirements	Cost, distribution by year				
			1st year	2nd year	3rd year	4th year	5th year
	International cooperation (IC)		4	4	4	4	4
	Materials						
	Equipment and third-party services (commissioning)		23	20	20	20	20
	Commissioning work						
	Services of research organisations		15				
	Acquisition of software						
	Design/construction						
	Service costs (<i>planned in case of direct project affiliation</i>)						
Resources required	Normo-hours						
	Resources						
	– the amount of FTE,	7	7	7	7	7	7
	– accelerator/installation,	1200	300	300	200	200	200
	– reactor,....						
Sources of funding	Budgetary resources						
	JINR budget (<i>budget items</i>)	138	42	24	24	24	24
	Extrabudgetary (supplementary estimates)						
	Contributions by co-contractors						
	Funds under contracts with customers						
	Other sources of funding						

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Thank you for attention!

BACKUP

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель дирекции
проекта NICA

Г.В. Трубников

Руководитель проекта NICA


В.Д. Кекелидзе

Этапы реализации проекта NICA в 2020-2022гг.

#		Нед.	Ответственный
2020			
1	Участок 1 здания 17 (павильон MPD) принят для сборки детектора	22	Дударев А.В., Топилин Н.Д.
2	Участок 4 (западная арка здания 17), участки 1.1 и 1.2 (каналы Нуклотрон-Коллайдер) приняты для монтажа оборудования Коллайдера	29	Дударев А.В., Трубников А.В.
3	Запуск Бустера NICA с пучком	30	Бутенко А.В.
4	Сверхпроводящий соленоид MPD доставлен в ЛФВЭ ОИЯИ	38	Емельянов Н.Э., Головатюк В.М.
5	Завершено сооружение новой криогенно компрессорной станции	49	Агапов Н.Н., Тихомиров Л.И.
6	Запущен в эксплуатацию магнит MPD	50	Емельянов Н.Э., Топилин Н.Д.
7	Пройдена государственная экспертиза проекта здания Центр NICA	51	Трубников А.В., Тихомиров Л.И.
2021			
8	Концептуальный проект установки SPD завершен	04	Гуськов А.В.
9	Канал Бустер-Нуклотрон запущен	06	Бутенко А.В.
10	Участок 3 (восточная арка здания 17), участки 2.1, 2.2, 4.1, 4.2 (прямолинейные участки здания 17) приняты для монтажа оборудования Коллайдера	12	Дударев А.В., Трубников А.В.
11	Завершен 1-й этап создания компьютерного кластера NICA и его инфраструктуры	26	Потребеников Ю.К., Долбилов А.Г.
12	Запуск комплекса криогенных установок в корп. 1Б на полную мощность (6000 Вт при 4.5К)	29	Агапов Н.Н.
13	ГПП1 (40.8 МВт) ЛФВЭ запущена в эксплуатацию	30	Дударев А.В., Агапов Н.Н.
14	Запущена в эксплуатацию новая криогенно-компр. станция	31	Агапов Н.Н.
15	Запущен Бустер + Нуклотрон для работы на VM@N	38	Бутенко А.В.
16	Начат сеанс на VM@N с пучками тяжелых ионов	40	Бутенко А.В., Капишин М.Н.
17	Завершена реконструкция павильона для прикладных исследований	42	Дударев А.В., Трубников А.В.
18	Запущена в эксплуатацию установка MPD	47	Головатюк В.М.
19	Завершены изготовление и испытания элементов магнитной системы Коллайдера	49	Костромин С.А., Ходжибагян Г.Г.
20	Введено в эксплуатацию здание Коллайдера (№ 17)	50	Дударев А.В., Тихомиров Л.И.
2022			
21	Подготовлен технический проект установки SPD	4	Гуськов А.В.
22	Криогенная система комплекса NICA введена в эксплуатацию в	24	Агапов Н.Н.


	полном объеме (10000 Вт на 4.5К)		
23	Запущены в эксплуатацию каналы с пучками для прикладных исследований	25	Сыресин Е.М.
24	Технический пуск сверхпроводящей магнитной системы коллайдера NICA	28	Бутенко А.В., Ходжибагян Г.Г., Костромин С.А.
25	Начат Сеанс №1 с пучком на Коллайдере NICA	36	Бутенко А.В., Мешков И.Н., Сыресин Е.М.
26	Введен в эксплуатацию Центр NICA	45	Трубников А.В., Тихомиров Л.И.
27	Подготовлена разрешительная документация, введен в эксплуатацию комплекс NICA	49	Агапов Н.Н., Кекелидзе В.Д.
28	Зарегистрировано первое событие в установке MPD — начало международной исследовательской программы NICA	50	Кекелидзе В.Д., Трубников Г.В.

Согласовано:

Агапов Н.Н. 

Гуськов А.В. 

Дударев А.В. 

Емельянов Н.Э. 

Костромин С.А. 

Потребеников Ю.К. 

Топилин Н.Д. 

Тихомиров Л.И. 

Бутенко А.В. 

Головатюк В.М. 

Долбилов А.Г. 

Капишин М.Н. 

Мешков И.Н. 

Сыресин Е.М. 

Трубников А.В. 

Ходжибагян Г.Г. 

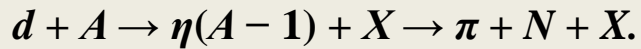
Plans for the NICA construction

Dubna, 26 February 2020

The Bibliography

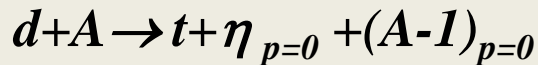
1. Afanasiev S.V. et al. "Upgrade of the SCAN-3 spectrometer at", Physics of Particles and Nuclei Letters, V. 20, № 5(250), 2023.
2. Dryablov D.K., "Three-arm spectrometer SCAN3 at the Nuclotron internal target". XXV International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems "Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics", September 2023.
3. Сухов Е.В., и др. "Модернизация спектрометра СКАН-3 на нуклотроне" АУСС-2022, Дубна, Россия, 24-28 октября 2022 г.
4. Сухов Е.В., «Многослойный нейтронный счетчик на основе пластического сцинтиллятора», XXIV научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов Государственного университета «Дубна». 2022.
5. S.V.Afanasiev, "The influence of collective effects on the eta-mesic nucleus". XXIV International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems "Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics", September 2021.
6. Д.К.Дряблов, З.А.Игамкулов, Т.Т.Рахмонов, и др.«Погрешность в определении эффективной массы пары частиц от распада S11-резонанса в установке SCAN-2» Uzbek Journal of Physics, Изд:АН Республики Узбекистан , т.5 , №19,2020, с.249-257.
7. С.В.Афанасьев ,и др. «Исследование нейтронного детектора на выведенном пучке Нуклотрона», Письма в ЭЧАЯ, т.16, №4 (223) , 2019. стр. 310-316
8. S.V.Afanasiev, et. all,"Test of the Neutron Detector in the Nuclotron Extraction Beamline", Physics of Particles and Nuclei Letters, v.16, №4 (223) , 2019. p. 327–332.
9. Sakulin.D.G. et. all. "Investigation of the electromagnetic calorimeter response Sakulin.D.G. et. all. "Investigation of the electromagnetic calorimeter response function by cosmic muons", XXIV International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems "Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics" (Baldin ISHEPP XXIV), EPJ Web Conf. Volume 204, 2019.
10. С.В.Афанасьев ,и др. «Исследование нейтронного детектора на выведенном пучке Нуклотрона», Письма в ЭЧАЯ, т.16, №4 (223) , 2019. стр. 310-316
11. S.V.Afanasiev, et. all,"Test of the Neutron Detector in the Nuclotron Extraction Beamline", Physics of Particles and Nuclei Letters, v.16, №4 (223) , 2019. p. 327–332
12. S.V.Afanasiev, et. all,"«Search for eta-mesic nuclei in the SRC/BM@N experiment at the Nuclotron» , XXIV International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems "Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics" (Baldin ISHEPP XXIV), EPJ Web of Conferences, ISSN:2100-014X, v.204, p.09002, 2021.
13. K. Michaličkov´a et.all, "Eta-nuclei in the SCAN experiment", Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics" (Baldin ISHEPP XXIV), EPJ Web of Conferences, ISSN:2100-014X, v.204, 2021.
14. K. Michaličkov´a et.all, "SEARCH FOR ETA-NUCLEI IN THE d+C REACTION IN THE RANGE OF THE BEAM ENERGY 0.6 - 2.3 GeV/nucI." International Workshop "Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV" -- RNP-2019 .Stara Lesna, Slovakia
15. K. Michaličkov´a et.all, "Determination of the reaction for eta-nuclei creation", Conference of Slovak physicists: Zilina, Slovakia, 2-5. September 2019.
16. V. Ustinov, et all, "Multilayer neutron detector based on a plastic scintillator", AIP Conference Proceedings, ISSN:0094-243X, eISSN:1551-7616, Изд:American Institute of Physics, Vol: 2377, 030018 (2021)

18. Ustinov V.V., доклад «Investigation of the radiation hardness of plastic scintillators in IBR-2 reactor» // HGCAL Workshop 2019. CERN, Женева, Швейцария, 11 ноября 2019.
19. Устинов В. В., и др. «Разработка детекторов нейтронов для спектрометра СКАН-3 в ОИЯИ» Труды Московского физико-технического института, ISSN:ISSN 2072-6759, том 13, №8, стр 122-132.
20. Ustinov V.V., доклад «The Radiation Hardness of the Plastic Scintillators and Reflectors» // HGCAL Workshop 2019-1, CERN, Женева, Швейцария, 11 марта 2019.
21. Устинов В.В., доклад «Стенд для исследования пластических сцинтилляторов на радиационную стойкость» // XXVI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов по фундаментальным наукам "Ломоносов-2019", МГУ, Москва, Россия, 11 апреля 2019.
22. Устинов В.В., доклад «Радиационная стойкость пластических сцинтилляторов и отражающих покрытий» // VIII Межинститутская молодежная конференция «Физика элементарных частиц и космология 2019», МФТИ, Москва, Россия, 12 апреля 2019.
23. Устинов В.В., секционный доклад «Исследование влияния радиационного поля на светосбор пластических сцинтилляторов» // XXVI Научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов, Государственный университет «Дубна», Россия, подсекция «Физико-технические системы», 15 апреля 2019.
24. Устинов В.В., пленарный доклад «Исследование влияния радиационного поля на светосбор пластических сцинтилляторов» // XXVI Научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов, Государственный университет «Дубна», Россия, 25 апреля 2019. Устинов В.В., пленарный доклад «Исследование влияния радиационного поля на светосбор пластических сцинтилляторов» // XXVI Научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов, Государственный университет «Дубна», Россия, 25 апреля 2019.
25. Сухов Е.В., доклад «Исследование световыхода пластических сцинтилляторов в зависимости от светоотражателя» // XXVI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов по фундаментальным наукам "Ломоносов-2019", МГУ, Москва, Россия, 2019.
26. Сухов Е.В., доклад «Исследование светосбора пластических сцинтилляторов в зависимости от производителя, формы и размера» // VIII Межинститутская молодежная конференция "Физика элементарных частиц и космология 2019", МФТИ, Москва, Россия 2019.
27. Сухов Е.В., секционный доклад «Исследование световыхода пластических сцинтилляторов в зависимости от их производителя, формы и размера, оболочки» // XXVI Научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов, Государственный университет «Дубна», Россия, подсекция «Физико-технические системы», 15 апреля 2019.
28. Устинов В.В., Афанасьев С.В., Сухов Е.В., доклад «Investigation of the radiation hardness of plastic scintillators» на Всероссийской научно-практической конференции «ПРИРОДА. ОБЩЕСТВО. ЧЕЛОВЕК», Государственный университет «Дубна», Россия, 2019.

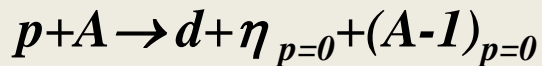
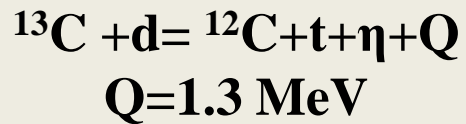


- 1) η -meson production
- 2) To produce stable nucleus-rest from target
- 3) Effective capture of the meson
- 4) To measure the products of decay

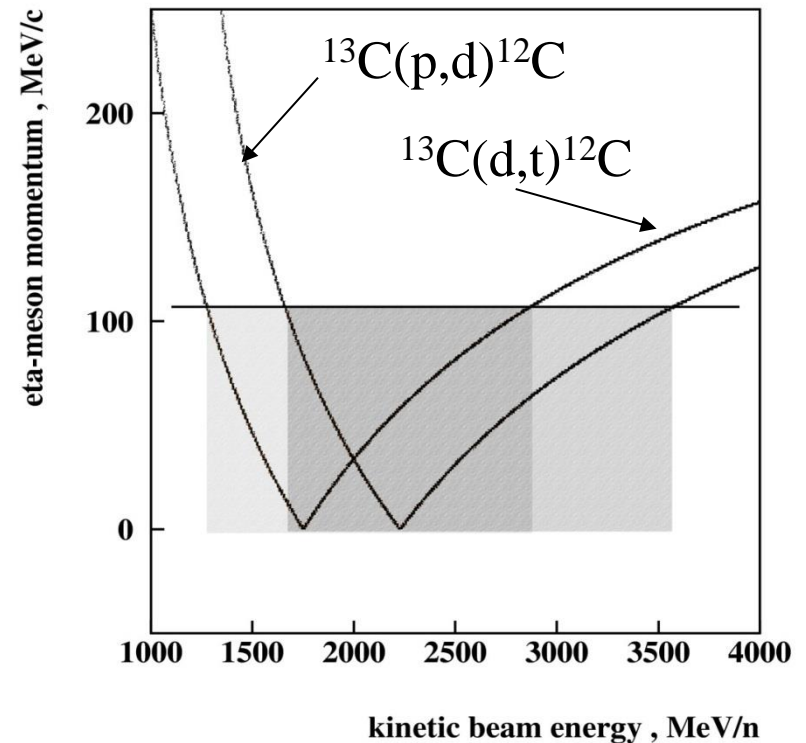
Recoil-free transfer reactions are most acceptable to the successful formation of the η -nuclei.



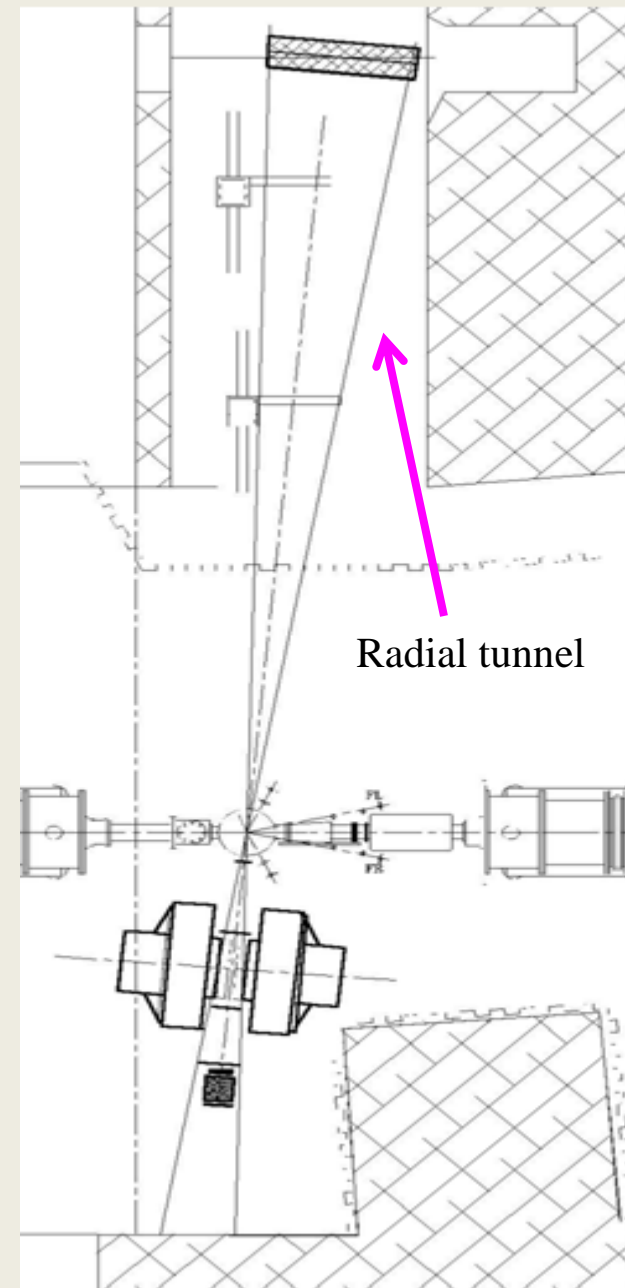
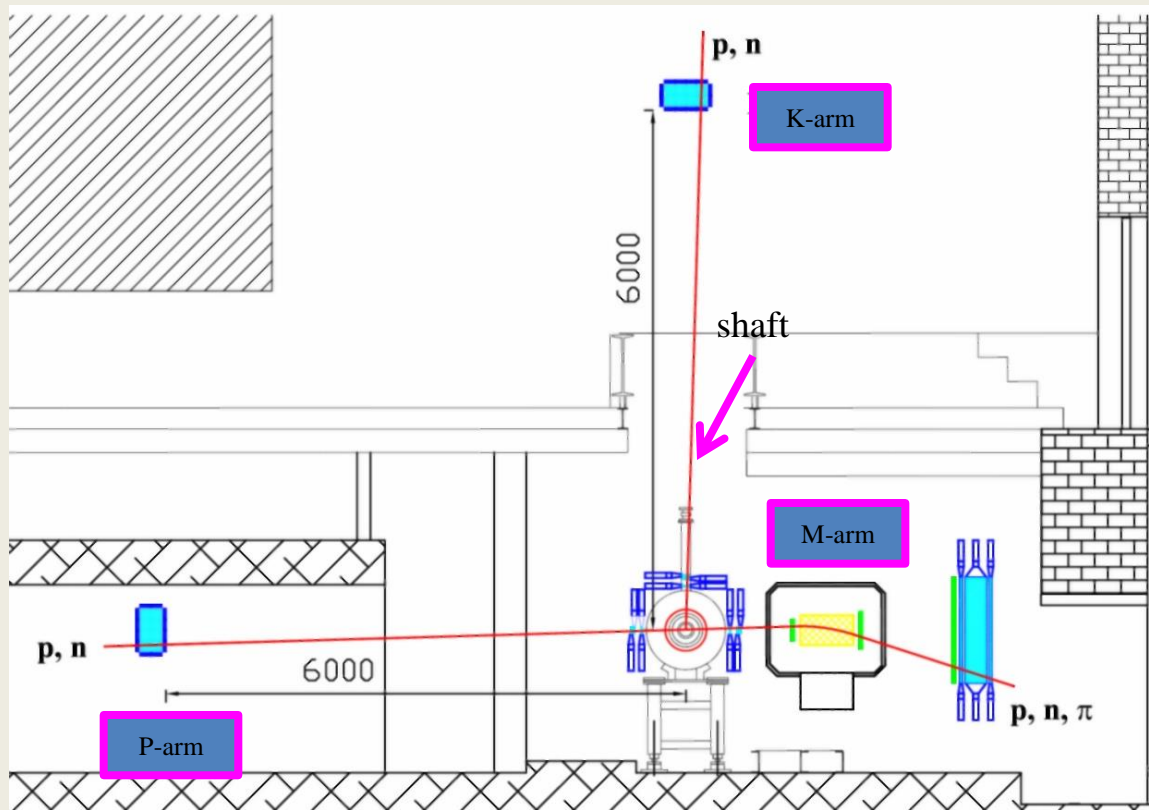
$$P_p = P_d \quad E_d = 2.22 \text{ MeV}$$



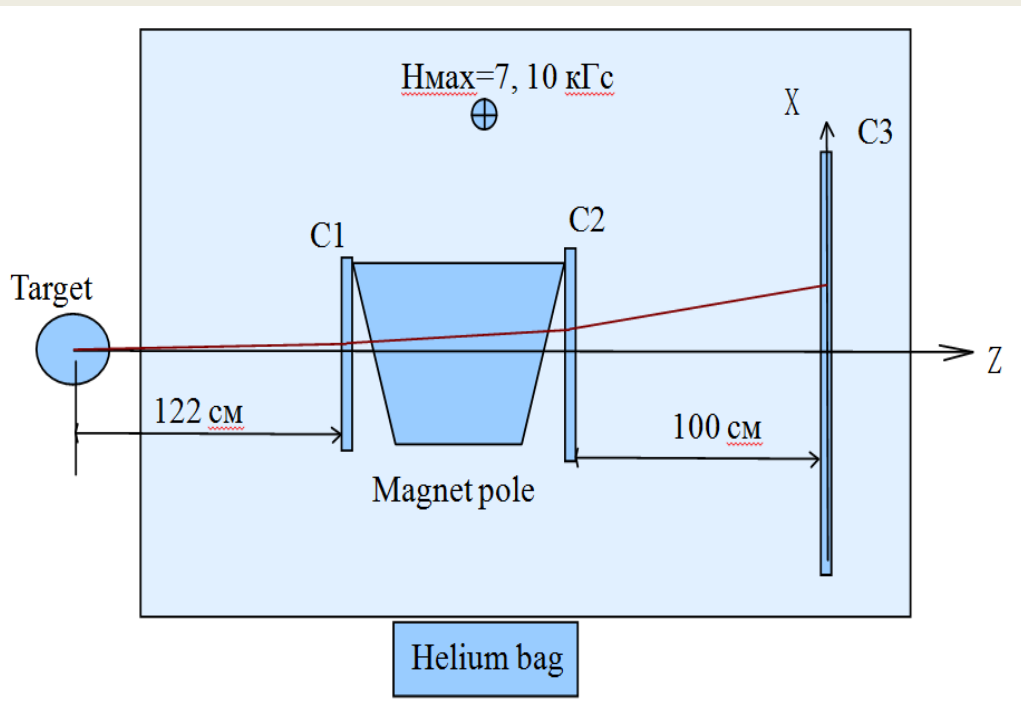
$$P_d = P_t \quad E_t = 6.25 \text{ MeV}$$



Location of spectrometer



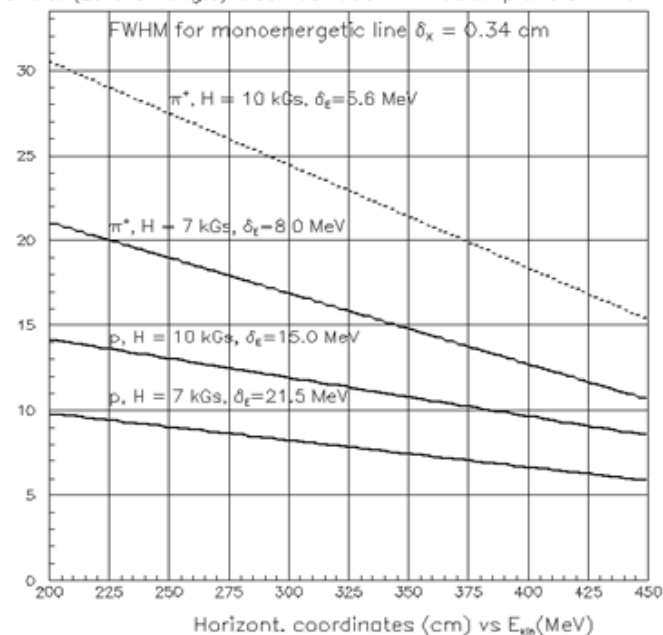
Distortion of π^+ and p of energy range of 200 – 425 MeV in the magnetic field of SP-46 magnet.



Distortion of track in magnetic field as a function of particle type, kinetic energy and two values of the magnetic field $H_{\max}=7$ and 10 kG.

Energy resolution (FWHM) for protons are 21,5 and 15 MeV, for pions – 8 and 5,6 MeV at the magnetic field 7 and 10 kGs accordingly.

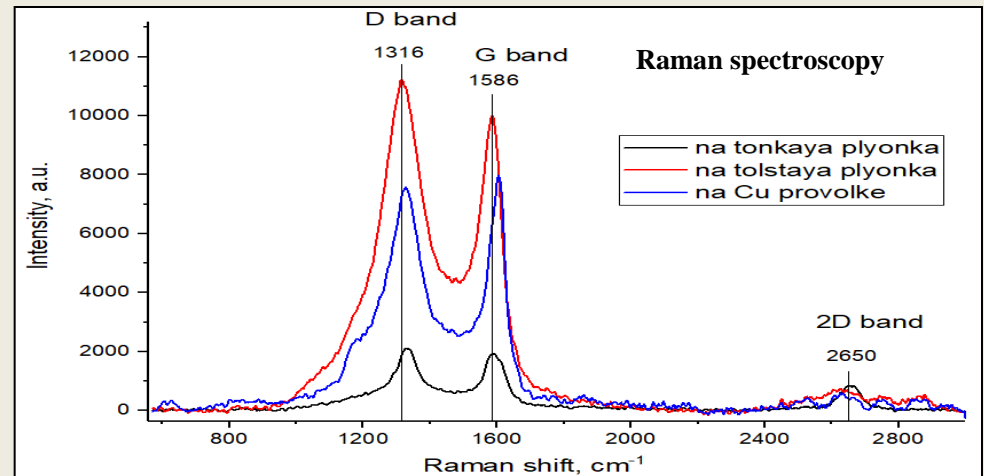
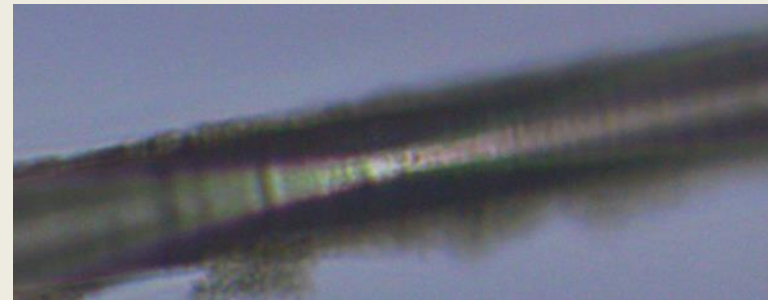
Central (zero θ -angle) track deviation in median plane SP-46



^{13}C target preparation

Carbon synthesized by pulsed-arc plasma

The results of carbon deposition on the substrate during plasma destruction of butane.



A gas control panel



A gas control panel was created for automated gas supply and control of coordinate Straw detectors, which are part of the magnetic spectrometer of the SCAN-3 installation. A photo of the gas control panel located in Bld. No. 1



СОГЛАСОВАНО

Зам директора ЛФВЭ
по научной работе

Трубников Г.В.

30 ОКТ 2013

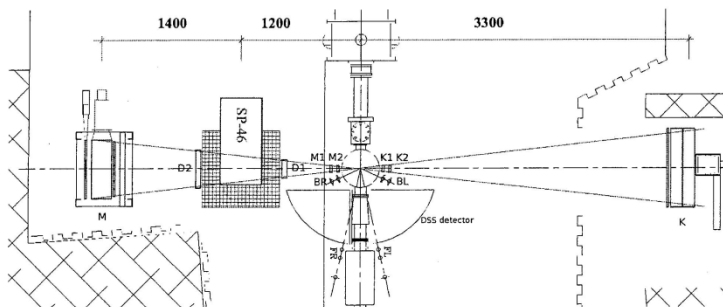
УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер
ЛФВЭ

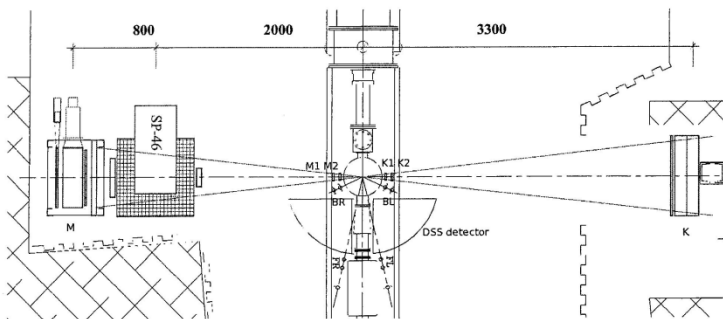
Агапов Н.Н.

ПЛАН
размещения спектрометра SKAN
в районе внутренней мишени Нуклотрона

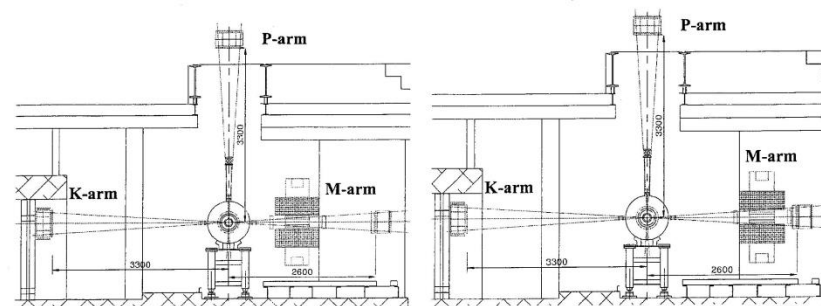
Рабочее расположение спектрометра SKAN (вид сверху):



Расположение спектрометра SKAN для обслуживания ускорителя (вид сверху):



SP-46 – передвижной магнит общим размером 780 мм по оси X и 1045 мм по оси Y;
 FR, FL, BR, BL – сцинтилляционные мониторные счетчики;
 K1, M1, K2, M2 – триггерные сцинтилляционные детекторы K и M плеч;
 D1 – дрейфовая камера размером 50мм по X, 200 мм по Y (перемещаемая);
 D2 – дрейфовая камера размером 50мм по X, 400 мм по Y (перемещаемая);
 M – блок с сцинтилляционными детект. и пропорциональной камерой, размеры - 570 мм по X, 760 мм по Y;
 K – блок с сцинтилляционными детекторами размером 400мм по X, 1070 мм по Y.



Рабочее расположение спектрометра SKAN
(фронтальный вид по пучку нуклотрона):

Расположение спектрометра SKAN для
обслуживания ускорителя (фронтальный
вид):

M-arm – магнитный спектрометр с сцинтилляционными детекторами и дрейфовыми камерами, оснащенный перемещаемым электромагнитом для обеспечения свободного прохода к прямолинейному участку нуклотрона.

K-arm – блок с сцинтилляционными детекторами размером 300x1000x400мм по XYZ, размещается в радиальном тоннеле.

P-arm – блок с сцинтилляционными детекторами размером 400x1000x300мм по XYZ, размещается в зале 1-го корпуса над нуклотроном.

СОГЛАСОВАНО

Гл. инженер установки Нуклотрон.....^{78.10.13} Ходжибагиян Г.Г.

Зам. директора по научной работе..... Коваленко А.Д.

Начальник отделения №2..... Строковский Е.А.

Начальник НЭО ИиКН..... Бутенко А.В.

Ведущий инженер по ОТ..... Соломасов Б.Т.

Ст. инженер ОРБ..... Никитин А.Д.

Начальник ИЗО..... Семин Н.В.

Начальник НТОП..... Волков В.И.

Начальник сектора НЭО ИиКН..... Смирнов А.В.

Руководитель проекта «DSS»..... Малахов А.И.

Руководитель установки «Дельта-2»..... Ливанов А.В.

Руководитель установки «Внутренняя Нишень Нуклотрона»..... Афанасьев С.В.

Х.А.Алиев